

Investigación e Innovación Educativa en Docencia Universitaria.

Retos, Propuestas y Acciones

Edición de.

Rosabel Roig-Vila
Josefa Eugenia Blasco Mira
Asunción Lledó Carreres
Neus Pellín Buades

Prólogo de.

José Francisco Torres Alfosea
Vicerrector de Calidad e Innovación Educativa
Universidad de Alicante

Edición de:

Rosabel Roig-Vila
Josefa Eugenia Blasco Mira
Asunción Lledó Carreres
Neus Pellín Buades

© Del texto: los autores (2016)

© De esta edición:

Universidad de Alicante
Vicerrectorado de Calidad e Innovación educativa
Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) (2016)

ISBN: 978-84-617-5129-7

Revisión y maquetación: Neus Pellín Buades

Métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos: Materiales docentes en el Grado en Geología

D. Benavente; J. Martínez-Martínez; C. Pla; J. Cuevas-González; M.C. Muñoz-Cervera;
J.C. Cañaveras; S. Ordóñez.

*Departamento de Ciencias de la Tierra y Medio Ambiente
Universidad de Alicante*

RESUMEN

El trabajo realizado en esta red docente es el desarrollo de estrategias para la incorporación paulatina de métodos y técnicas analíticas de investigación mineralógicas y geoquímicas en diferentes asignaturas en el Grado en Geología de la Universidad de Alicante. El plan de aprendizaje por parte de los alumnos se estructura en dos fases. En los primeros cursos, se introducen las diferentes técnicas, dando importancia a las competencias de la asignatura y menos a la técnica analítica. En los últimos cursos la metodología evoluciona a presentar una visión integral y multidisciplinar del problema. En todas las asignaturas se trabaja conjuntamente con técnicas clásicas de investigación (DRX y microscopía óptica) para incentivar la capacidad crítica del alumno. Algunas de dichas técnicas son DRX-temperatura, espectroscopía Raman, SEM-mapping, XPS, ICP, CI, etc. La aceptación de las metodologías utilizadas se ha valorado a través de encuestas a los alumnos. Los resultados de las mismas han sido satisfactorios, ya que los alumnos tienen una idea más clara y real de las competencias de la asignatura, adquieren una visión multidisciplinar y transversal de los conceptos adquiridos y trabajan con casos aplicados y de investigación, aumentando así su motivación.

Palabras clave: Grado en Geología, Mineralogía, Geoquímica, Petrología, Autoaprendizaje

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Problema/cuestión.

La experiencia adquirida desde la implementación de los cursos del Grado en Geología ha puesto de manifiesto la necesidad de mejorar, actualizar y coordinar entre los profesores de las diferentes asignaturas los contenidos referidos a métodos y técnicas de análisis de materiales geológicos. Estos contenidos están enmarcados en asignaturas principalmente impartidas por el área de conocimiento de Petrología y Geoquímica desde el segundo a cuarto curso del grado en Geología, que incluyen: Cristalografía y Mineralogía (2º curso), Petrología Ígnea y Metamórfica, Petrología Sedimentaria y Geoquímica y Prospección Geoquímica (3º curso) y Recursos Minerales y Energéticos y Petrología Aplicada (4º curso). Durante estos años, nuestro grupo ha participado en diferentes redes docentes con el propósito de coordinar y elaborar material docente específico para las asignaturas anteriormente expuestas, aunque sin abordar estas competencias específicas (Benavente et al., 2012 y 2013).

La caracterización mineralógica y geoquímica de materiales geológicos con fines académicos y profesionales está cambiando con la mejora de técnicas y su instrumentación. Por otro lado, los resultados obtenidos durante los cursos precedentes han mostrado la necesidad de desarrollar material específico que permita la incorporación paulatina de métodos y técnicas analíticas de investigación mineralógicas y geoquímicas con el objeto de que los alumnos adquieran una idea más clara y real de las competencias de la asignatura, adquieran una visión multidisciplinar y transversal de los conceptos adquiridos y trabajen con casos aplicados y de investigación, aumentando así su motivación.

1.2 Revisión de la literatura.

La bibliografía clásicamente utilizada como referencia en las asignaturas anteriormente expuestas recoge principalmente el uso de la difracción de rayos X (DRX) y el microscopio óptico (MO) como técnicas para la caracterización de materiales geológicos. Sin embargo, estas técnicas de caracterización evolucionan continuamente y se han incorporado rutinariamente en laboratorios. Destacan por su uso frecuente, accesibilidad y relativa facilidad de interpretación la espectroscopía Raman, microscopio electrónico de barrido (scanning electron microscopy, SEM), cromatografía iónica (CI), espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (inductively

coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS), y espectroscopia de fotoelectrones emitidos por Rayos X (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS).

La bibliografía de referencia (ej.: Best, 1982; Klein & Hurlbut, 1996; Boggs, 2009). introduce algunos ejemplos sin alcanzar una visión práctica de su uso. Se observa una tendencia en la bibliografía más moderna (Putnis 2003; Dyar et al., 2008) a incorporar técnicas y resaltar su importancia en aplicaciones futuras académicas y profesionales. Sin embargo, y al igual que la literatura específica de técnicas en mineralogía y geoquímica (ej.: Tucker, 1988), no contiene material docente que permita el autoaprendizaje del alumno, asimilar los conceptos de las asignaturas y aplicarlo de forma transversal. Por el contrario, los ejemplos que tienen contenido multidisciplinar y transversal se obtienen de artículos de investigación, que en general, tiene un nivel muy elevado con respecto al que definen las competencias de la asignatura. Por ello, el objetivo de esta red docente ha consistido principalmente en la elaboración de materiales docentes que profundicen en los métodos y técnicas analíticas de investigación mineralógicas y geoquímicas para el desarrollo de las asignaturas impartidas por el área de conocimiento de Petrología y Geoquímica en los diferentes cursos del grado en Geología.

1.3 Propósito.

A partir de los problemas encontrados durante estos años de impartición de las diferentes asignaturas de carácter petrológico y geoquímico y las debilidades del material docente existente, el objetivo de esta red es el desarrollo de material docente específico que permita el autoaprendizaje del alumno. Dicho material incluye el desarrollo tanto de manuales como rutinas y prácticas en los servicios técnicos de la Universidad de Alicante (SSTTI), garantizando la coherencia tanto en la distribución de contenidos como en las metodologías docentes y de evaluación.

En los primeros cursos, se introducen las diferentes técnicas, dando más importancia a las competencias de la asignatura y menos a la técnica analítica. En los últimos cursos la metodología evoluciona para presentar una visión global del caso de estudio. En este trabajo se van a mostrar los resultados de cuatro tipos de materiales: caracterización geoquímica y mineralógica de diferentes rocas usadas comúnmente como material de construcción; texturas de exolución o desmezcla en silicatos; evaluación de leyes en arenas coltán; y diagnóstico de un edificio construido en piedra. Dicho material recoge todos los puntos anteriormente descritos.

Las metodologías desarrolladas en cada asignatura impartida han estado fuertemente dirigidas a potenciar su estudio transversal y multidisciplinar, haciendo especial hincapié en casos reales de estudio. Este enfoque considera diferentes aproximaciones:

(1) *Transversalidad dentro de las asignaturas del mismo plan de estudios*. Este enfoque engloba la relación de cada tema con los diferentes temas dentro de cada bloque temático de la asignatura; su relación con temas de otros bloques tanto teóricos como prácticos; la complementariedad con otras asignaturas dentro del plan de estudios.

(2) *Competencias transversales*. No hay una asignatura específica de técnicas analíticas para la caracterización de materiales geológicos. Sin embargo, la adquisición de competencias en dicha materia facilitaría la inserción laboral de nuestros egresados.

(3) *Estudio integral*. Gran parte de las actividades docentes desarrolladas giran alrededor de situaciones reales, problemáticas o casos de estudio, independiente del nivel del curso impartido. El objetivo final es asimilar y aplicar conocimientos, adquirir y usar destrezas y desarrollar capacidades para resolver problemas. El aprendizaje prioriza la resolución del problema aplicando el conocimiento, en detrimento de la transmisión de conocimiento por parte del profesor. Este tipo de actividades se desarrollan por parte del alumno tanto de forma individual como en grupo. La discusión en clase y su corrección permiten evaluar el grado de madurez adquirida por el alumno al tener que afrontar un problema desde varios puntos de vista, distintos y complementarios.

(4) *Aproximación multidisciplinar*. La mayoría de las situaciones laborales a las que se van a enfrentar los estudiantes requieren una filosofía global, diferenciando entre su labor de especialista formado en la materia y su papel dentro de un equipo interdisciplinar. Este tipo de actividades hace que el alumno adquiera la capacidad de entender el trabajo realizado por otras personas con diferente formación y la capacidad de agrupar y transmitir su labor en un trabajo final.

Las actividades planteadas requieren, por parte del profesorado, una continua revisión y actualización de un curso académico a otro, lo que en última instancia repercutiría en la calidad de los materiales y actividades que se desarrollan en el aula.

2. METODOLOGÍA

Esta etapa del proceso de investigación conlleva el diseño de los procedimientos y métodos utilizados para estudiar el problema. Podemos subdividir la metodología en:

2.1. Descripción del contexto y de los participantes

La Red Docente que ha desarrollado el presente trabajo contiene profesores del Departamento de Ciencias de la Tierra y del Medio Ambiente de la Facultad de Ciencias, pertenecientes al área de conocimiento de Petrología y Geoquímica (David Benavente García, Juan Carlos Cañaveras Jiménez, Javier Martínez Martínez, María Concepción Muñoz Cervera, Concepción Pla Bru y Salvador Ordóñez Delgado) y al área de conocimiento de Geodinámica Externa (Jaime Cuevas González).

Se realizan contenidos para un total de 7 asignaturas, desde el segundo al cuarto curso del grado en Geología, que incluyen: Cristalografía y Mineralogía (2º curso), Petrología Ígnea y Metamórfica, Petrología Sedimentaria y Geoquímica y Prospección Geoquímica (3º curso) y Recursos Minerales y Energéticos y Petrología Aplicada (4º curso). El material desarrollado, y algunas de las prácticas de asignaturas de 4º curso, se realizan en las instalaciones de los Servicios Técnicos de Investigación de la Universidad de Alicante.

2.2. Materiales

Como se ha expuesto anteriormente, en este trabajo nos centramos en mostrar un ejemplo significativo del material desarrollado para cada curso, específicamente en el marco de la Red: (i) caracterización geoquímica y mineralógica de diferentes rocas usadas comúnmente como material de construcción, (ii) texturas de exolución o desmezcla en silicatos; (iii) estudio de leyes en arenas coltán; y (iv) diagnóstico de un edificio construido en piedra.

2.3. Instrumentos

Las técnicas de caracterización mineral y geoquímica de materiales geológicos se encuentran en las aulas de microscopía de la Facultad de Ciencias (microscopio óptico) y en los Servicios Técnicos de Investigación de la Universidad de Alicante (difracción de rayos X, espectroscopía Raman, microscopio electrónico de barrido, cromatografía iónica, espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo y espectroscopia de fotoelectrones emitidos por Rayos X).

2.4. Procedimientos

Al alumno se le proporcionan apuntes claros y concisos de las prácticas a desarrollar, así como la colección de problemas de análisis de materiales geológicos a través del Campus Virtual. La colección de problemas o ejercicios que constituyen cada práctica comienza con casos sencillos incrementando el grado de dificultad y, en algunos ejercicios, combinando la utilización de otros datos estudiados en otras prácticas.

Se trabaja con ellos en el aula de teoría, a modo de tutorial, de modo que sirva de presentación e introducción de las prácticas a desarrollar antes de cada sesión (o trabajo individual del alumno). Durante la sesión de prácticas, se desarrollan algunos ejemplos enmarcados en el desarrollo teórico-práctico de la asignatura. Se hace hincapié en los problemas mas complejos que se pueden encontrar tanto en los pasos intermedios como en el desarrollo de la práctica en conjunto. Dicha metodología se ha desarrollado y aplicado de forma exitosa en otras redes docentes realizadas por nuestro grupo (Benavente et al., 2012 y 2013).

La aceptación de las metodologías utilizadas se ha valorado a través de encuestas a los alumnos, en los diferentes cursos. En los primeros cursos se incide en saber cómo se caracteriza una propiedad (ej.: composición mineral, textural, geoquímica, etc.) y en los últimos cursos en cómo combinar las diferentes técnicas para resolver de forma complementaria un problema (ej.: FRX y espectroscopía Raman para fases amorfas; DRX y SEM-mapping para eflorescencias salinas en edificios, etc.).

En la Tabla 1 se recogen las diferentes técnicas incorporadas progresivamente en cada asignatura, así como su combinación con las estudiadas en cursos anteriores.

3. RESULTADOS

Tomando como base los contenidos teóricos y prácticos de las asignaturas mencionadas anteriormente, se han elaborado una serie de materiales docentes de nueva creación, basados en redes anteriores. A continuación se detallan los ejemplos mas importantes que ahondan en el autoaprendizaje del alumno, enmarcados en segundo, tercero y cuarto del Grado en Geología.

El primer ejemplo forma parte de las prácticas de la asignatura de Cristalografía y tiene como objeto la *caracterización geoquímica y mineralógica de diferentes rocas*

usadas comúnmente como material de construcción: Mármol Macael (mármol calcítico); Rojo Alicante (biomicrítica, mudstone-wackestone); Piedra Bateig Azul (biocalcarenita, packstone-grainstone); Negro Angola (gabro olivínico); y Granito Rosa Porriño (granito). Los objetivos didácticos de esta práctica son: (1) interpretar diagramas de difracción de rocas poliminerale en las que se producen solapamientos en diferentes picos correspondientes a varios minerales. Este hecho se debe a la similitud de la estructura cristalina que presentan algunos minerales que constituyen la roca. (2) combinar dos técnicas muy importantes en petrología y geoquímica (difracción y fluorescencia de rayos X) (Fig. 1).

Tabla 1. Relación de técnicas estudiadas las asignatura evaluadas (cristalografía; mineralogía; petrología ígnea y metamórfica, PIM; petrología sedimentaria, PSEM; geoquímica y prospección geoquímica, GQ; petrología aplicada, PetroAP; y recursos minerales y energéticos, RME). Difracción y fluorescencia de rayos X (DRX, FRX); el microscopio óptico (MO); microscopio electrónico de barido (scanning electron microscopy, SEM, en modo mapping); espectroscopía Raman, cromatografía iónica (CI); análisis térmico diferencial (ATD); espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (inductively coupled plasma mass spectrometry, ICP-MS), y espectroscopia de fotoelectrones emitidos por Rayos X (X-ray photoelectron spectroscopy, XPS).

Curso	Asignatura	Técnica clásicas	Técnica incorporada	Combinación técnicas
2	Cristalografía	DRX	FRX	DRX, FRX
2	Mineralogía	MO	SEM	MO, DRX, SEM, FRX
3	PIM	MO	SEM-mapping	MO, DRX, FRX, ATD, SEM-mapping
3	PSEM	MO	ATD, SEM-mapping	MO, DRX, FRX, ATD, SEM-mapping
3	GQ	FRX	XPS, ICP, CI	DRX, SEM, FRX, XPS, ICP, CI
4	PetroAP	-	DRX-T, Raman	todas
4	RME	-	SEM-mapping	todas

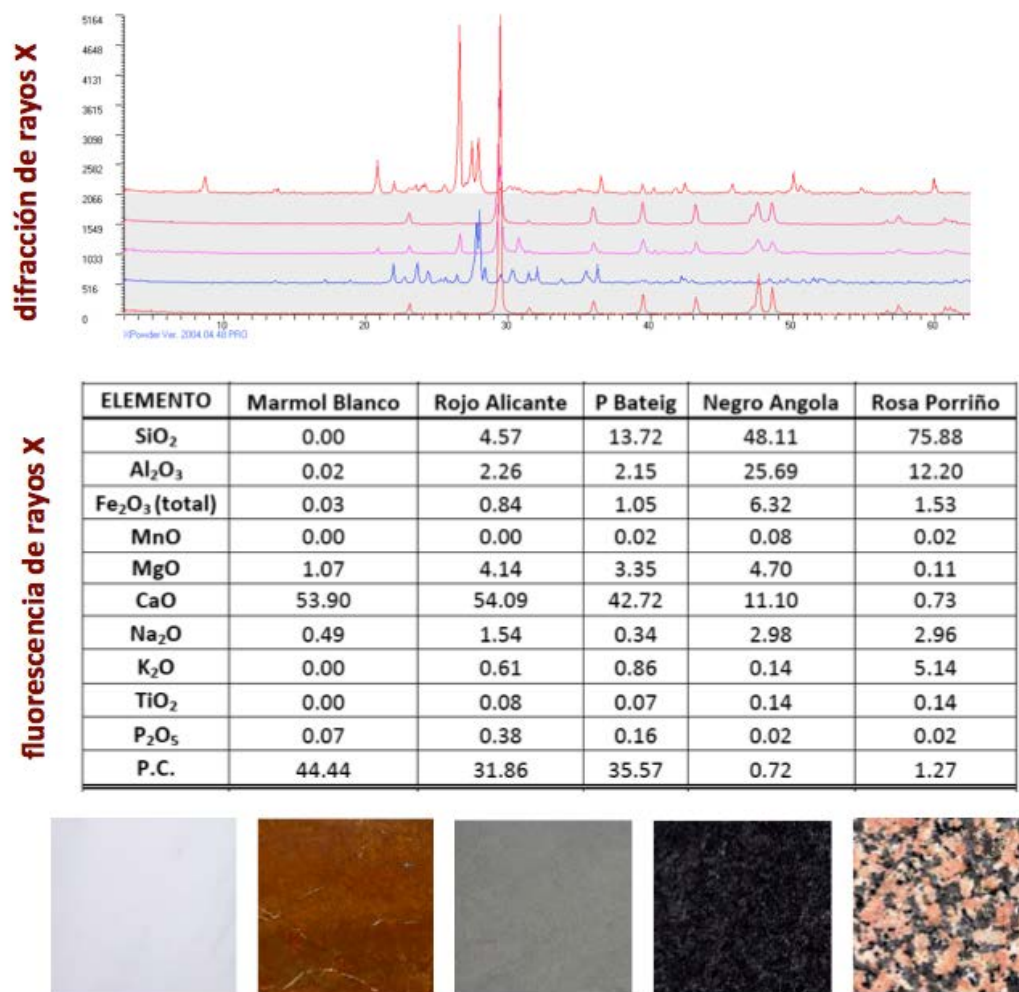


Figura 1. Diagrama de difracción, composición química de elementos mayores y foto de de las rocas ornamentales estudiadas (tamaño de la roca 4x4cm).

El segundo ejemplo está enmarcado en la asignatura de Petrología Ígnea y Metamórfica (3^{er} curso) y muestra el estudio de formación de texturas de exolución o desmezclas en feldespatos alcalinos. Este tipo de procesos de inmiscibilidad a baja temperatura se estudió en la asignatura de Mineralogía (2^o curso), mientras que en la asignatura de Petrología Ígnea y Metamórfica se relaciona con procesos petrogenéticos. Los feldespatos alcalinos constituyen soluciones sólidas cuando cristalizan, pero esa miscibilidad se pierde al disminuir la temperatura. Como resultado se producen exsoluciones entre minerales. Cuando son los cristales de feldespato potásico (ortosa) los que tienen exsoluciones de feldespato sódico (albita) en su interior se denominan pertitas; cuando es al revés, antipertitas. Las morfologías de estas desmezclas pueden ser muy variadas, siendo muy comunes las láminas o lamelas (lamelas de exolución).

Estos procesos también se dan entre otros minerales con solución sólida, como los clino- y orto-piroxenos (Fig. 2).

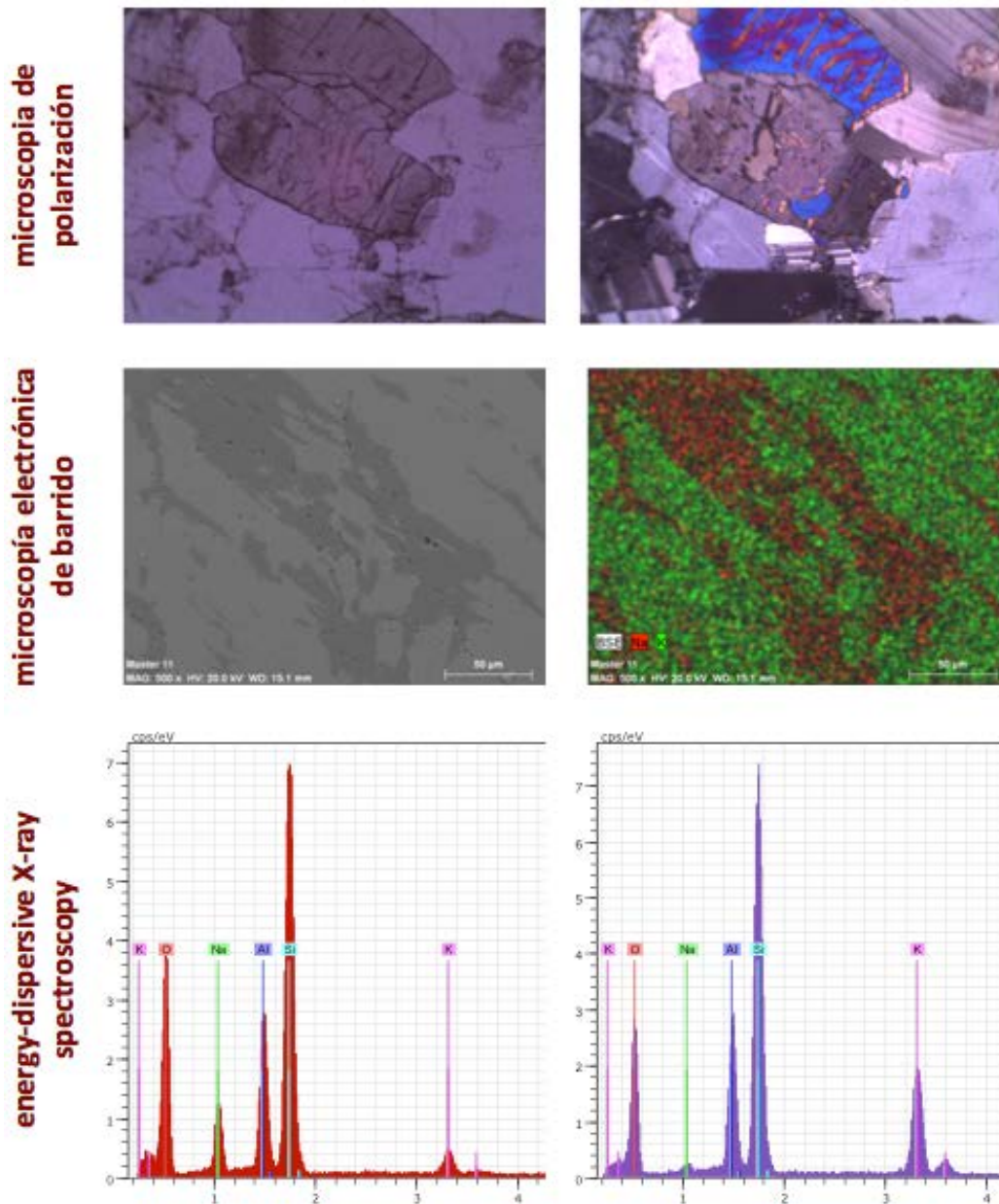


Figura 2. Ejemplos de texturas de exsolución o desmezcla. Lamelas de exolución entre clino y orto-piroxenos (imagen de microscopia de polarización, nícoles cruzados); pertitas al MEB (SEM modo retrodispersados y mapping); y análisis semicuantitativos (EDS, Energy-dispersive X-ray spectroscopy) de los dos feldespatos exsueitos (albita y ortosa).

El tercer ejemplo forma parte de los seminarios de la asignatura de Recursos Minerales y Energéticos y tiene como objeto *el cálculo de las leyes de niobio y tántalo*

en arenas coltán. En los últimos 10 años ha sido blanco estratégico de las compañías de exploración minera, tema de controversia social y medioambiental e incluso objeto de debate en las propias Naciones Unidas. El coltán es fundamental para el desarrollo de nuevas tecnologías: telefonía móvil, fabricación de ordenadores, armamento; medicina, etc.

El coltán no es realmente ningún mineral establecido, sino que responde a la contracción de dos minerales bien conocidos: la columbita, óxido de niobio con hierro y manganeso $(\text{Fe, Mn})\text{Nb}_2\text{O}_6$, y la tantalita, óxido de tántalo con hierro y manganeso $(\text{Fe, Mn})\text{Ta}_2\text{O}_6$. Estos óxidos constituyen una solución sólida completa entre ambos minerales. Son escasos en la naturaleza y los yacimientos más importantes de origen primario están asociados a granitos alcalinos y rocas relacionadas, y a yacimientos de tipo placer (sedimentarios) que son fácilmente recuperables con técnicas de extracción menos costosas.

Los principales productores mundiales son Australia, Brasil, Canadá y algunos países africanos (República Popular del Congo, Ruanda y Etiopía). Su explotación en África ha estado, y está, ligada a conflictos bélicos para conseguir el control de este material, condiciones de explotación en régimen de semiesclavitud, desastres medioambientales con gravísimas repercusiones en la fauna local de especies protegidas (gorilas, elefantes), e incluso a graves problemas de salud asociados con los arcaicos e inhumanos métodos (Lunar y Martínez Frías, 2007).

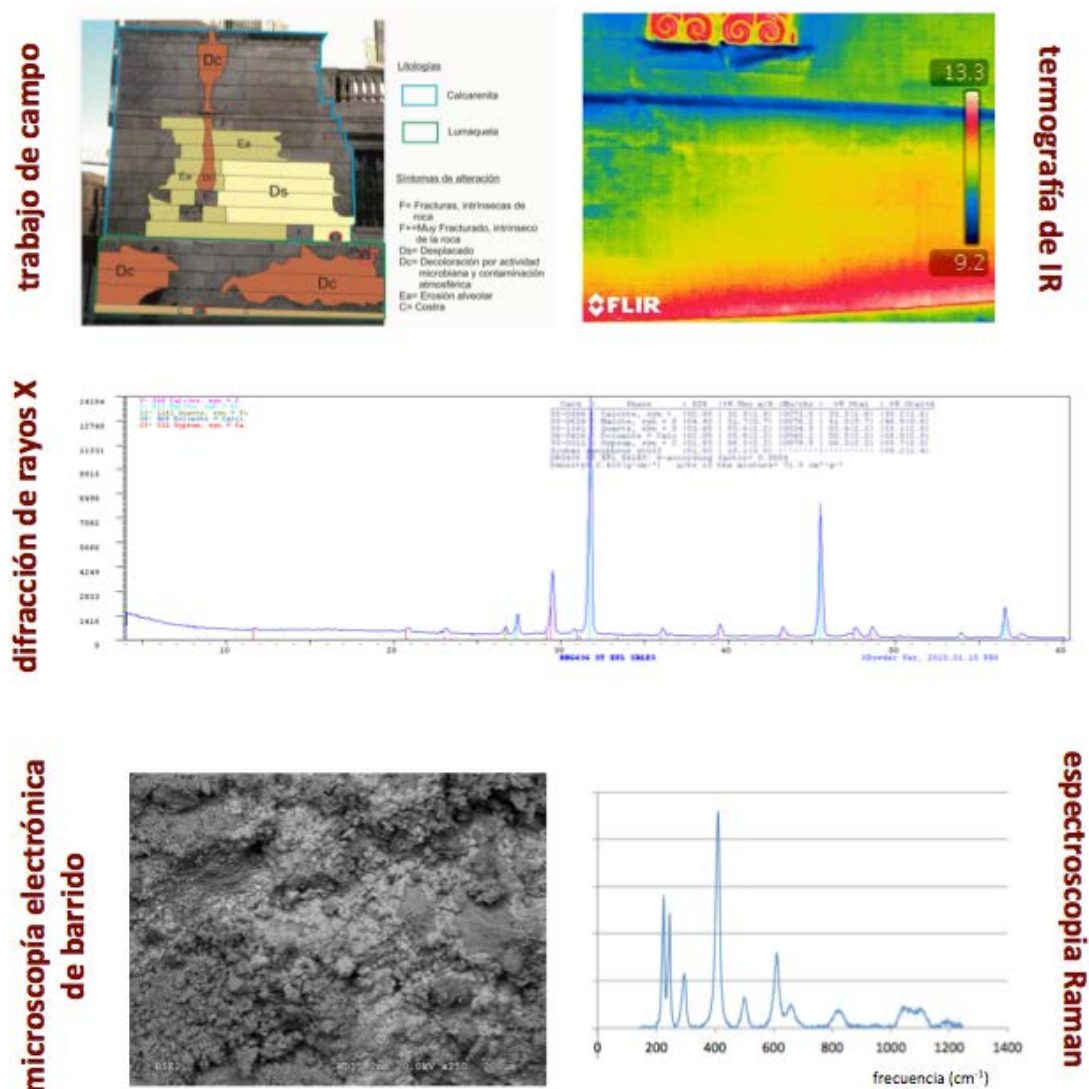
La paragénesis de estos minerales es muy compleja, con una importante variedad mineral (cuarzo, feldespatos, micas, turmalina, microclina, monazita, casiterita, berilo, espodumena y wolframita, entre otros); la granulometría de las arenas no es seleccionada (una amplia distribución de tamaños de grano); y la distribución del niobio y tántalo en los minerales no es siempre clara (Fig. 3).

La elección de este tipo de actividades, además del objetivo didáctico intrínseco de la obtención de ley (concentración) en niobio y tántalo en arenas y su paragénesis, tiene mucha aceptación por parte del alumnado por los motivos económicos, sociales y ambientales que conlleva.



difracción de rayos X

2160



Trabajo de Fin de Grado. La mayoría de los trabajos que realizan en el marco de esta asignatura necesitan la caracterización de materiales geológicos y el uso de las técnicas anteriormente expuestas. Por ello, la visión multidisciplinar e integral, en primera instancia, y la visión personal de la aplicación de las técnicas y el uso de los SSTTI, en última instancia, proporcionan herramientas formativas básicas para el desarrollo del Trabajo de Fin de Grado.

La aceptación de las metodologías utilizadas se ha valorado a través de encuestas a los alumnos. Se realizaron entre 1-2 encuestas por curso, mayoritariamente abiertas y conjuntas, durante el desarrollo de la clase. En casos puntuales, se realizaron de forma anónima a través de encuestas en papel (Cristalografía) e individuales (Petrología Aplicada), todo ello con el objeto de conocer el grado de aceptación y posibles sugerencias para adaptar las actividades que se desarrollan en el curso o para incluirlas para cursos venideros. Los resultados de las mismas han sido satisfactorios, principalmente en el último curso. Por el contrario, en el segundo curso el interés y uso de las mismas es menor debido a su desconocimiento.

4. CONCLUSIONES

Se han desarrollado diferentes tipos de materiales y metodologías que han mejorado sustancialmente el autoaprendizaje de los alumnos de las asignaturas Cristalografía y Mineralogía (2º curso), Petrología Ígnea y Metamórfica, Petrología Sedimentaria y Geoquímica y Prospección Geoquímica (3º curso) y Recursos Minerales y Energéticos y Petrología Aplicada (4º curso).

Los resultados obtenidos con la implantación de estos materiales y metodología relacionada con ellos han sido, según nuestro criterio, muy satisfactorios desde el punto de vista metodológico (enlazar los contenidos teóricos con la asignatura y con prácticas reales), formativo (se han alcanzado los objetivos del aprendizaje establecidos en la memoria del Grado en Geología) y calificativo.

Este tipo de prácticas ha tenido una buena aceptación por parte de los estudiantes, principalmente en cuarto curso. Los resultados han demostrado una mayor aceptación de las prácticas, mostrando una mejor predisposición al uso de técnicas analíticas de caracterización de materiales geológicos.

5. DIFICULTADES ENCONTRADAS

Las dificultades encontradas se han centrado principalmente en la aceptación, por parte del alumnado, del estudio de nuevas técnicas de análisis; y en el uso de las instalaciones de los SSTTI. Muchas veces el horario de uso de los equipos de los SSTTI no coincide con el rígido horario que tiene los alumnos durante el estudio del Grado.

6. PROPUESTAS DE MEJORA

Se hace necesaria la ampliación de los recursos y materiales docentes desarrollados. En este sentido se pretende hacer un esfuerzo importante en el desarrollo de materiales explicativos orientados a facilitar el entendimiento de las prácticas, tanto antes de comenzar las prácticas y durante su realización, así como posteriormente en el trabajo personal del alumno en casa: facilitar el autoaprendizaje.

Nuestra intención es desarrollar recursos didácticos focalizados en la mejora de la aceptación del uso de técnicas analíticas para los primeros cursos. En los últimos cursos, se pretende complementar mas ejemplos y utilizar, como ejemplos prácticos, estudios realizados en diferentes TFG de alumnos egresados.

7. PREVISIÓN DE CONTINUIDAD

El futuro del funcionamiento de esta red docente pasa por la implementación de los materiales docentes elaborados. Asimismo, desde su creación, esta red tiene una vocación de funcionamiento continuo, añadiendo materiales nuevos. Como se ha mencionado anteriormente, se toma como objetivo el empleo de materiales problema que se utilicen en otras asignaturas, de esta forma se confiere un carácter integrador a todas las asignaturas del mismo curso.

8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Benavente, D., Cañaveras, J.C., Martínez Martínez, J., Muñoz Cervera, M.C., Ordóñez, S., Palomo, M. & Rodríguez García, M.A. (2012). Red para la elaboración de materiales docentes en Petrología y Geoquímica (3º curso de Geología). En Álvarez Teruel, J.D.; Tortosa Ybáñez, M. T. y Pellín Buades, N. (Coords.), *Diseño de acciones de investigación en docencia universitaria*, pp. 1044-1063. Alicante: Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Alicante.
- Benavente, D., Cañaveras, J.C., Cuezva, S., Martínez Martínez, J., Muñoz Cervera, M.C., Ordóñez, S., Pla, C. & Rodríguez García, M.A. (2013). Red para la elaboración de materiales docentes en el análisis de datos estadísticos y geoestadísticos (3º y 4º del Grado en Geología). En: Álvarez Teruel, J.D.; Tortosa Ybáñez, M. T. y Pellín Buades, N. (Coords.), *La Producción Científica y la Actividad de Innovación Docente en Proyectos de Redes*, pp. 2741-2755. Alicante: Vicerrectorado de Estudios, Formación y Calidad. Instituto de Ciencias de la Educación. Universidad de Alicante.
- Best, M.G. (1982). *Igneous and Metamorphic Petrology*. New York: Freeman.
- Boggs, S. (2009): *Petrology of Sedimentary Rocks*. 2nd Edition. Cambridge: Cambridge University Press.
- Dyar, M.D., Gunter, M.E. & Tasa D. (2008) *Mineralogy and Optical Mineralogy*. Mineralogical Society of America: Chantilly, Virginia, USA.
- Klein, C. & Hurlbut, C.S., Jr. (1996). *Manual de Mineralogía*, 4º Edic., Reverté: Barcelona.
- Lunar, R. & Martínez Frías, J. (2007). El coltán, un ‘mineral’ estratégico. EL PAÍS, miércoles 26 de septiembre de 2007, p. 50.
- Putnis, A. (2003) *Introduction to Mineral Sciences*. Cambridge University Press: Cambridge.
- Tucker, M. E. (1988). *Techniques in Sedimentology* 1st Edition. Blackwell Scientific: Oxford.